DIKLAT BERBASIS KOMPETENSI

MODUL 2 PENGOPERASIAN
(EFISIENSI)

PT PLN (Persero)
UNIT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SURALAYA
2008

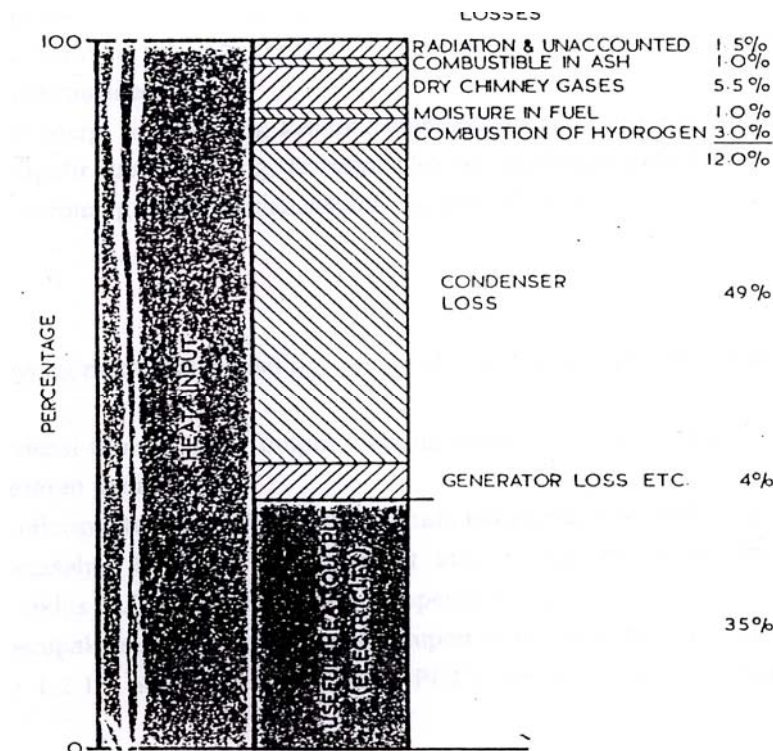
DAFTAR ISI

1. DASAR - DASAR EFISIENSI

Seperti telah kita maklumi bahwa hasil keluaran (output) dari PLTU adalah berupa energi listrik sedang sebagai masukan (input) nya adalah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar. Idealnya, kita menghendaki agar energi kimia (input) dapat diubah seluruhnya menjadi energi listrik (output).

Tetapi pada kenyataannya, hal ini tidak mungkin dapat dilaksanakan karena adanya berbagai kerugian (losses) yang terjadi hampir disetiap komponen PLTU. Akibat kerugian-kerugian tersebut, maka energi listrik yang dihasilkan PLTU selalu lebih kecil dari energi kimia yang masuk ke sistem PLTU.

1.1. Istilah Efisiensi.

Dalam kaitannya dengan output dan input, seringkali kita mendengar istilah efisiensi. Secara umum, efisiensi didefinisikan sebagai perbadingan antara output terhadap input dalam suatu proses. Gambar 1, merupakan ilustrasi dari efisiensi dalam kaitannya dengan input, output dan losses.

Gambar 1. Korelasi Input, Output Dan Losses Terhadap Efisiensi

Secara matematis, efisiensi dapat dinyatakan :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\ \%, \text{ atau}$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{\text{input - losses}}{\text{input}} \times 100\ \%$$

PLTU dirancang untuk menghasilkan output berupa energi listrik dalam besaran tertentu untuk sejumlah input berupa bahan bakar dalam jumlah tertentu pula. Bila seluruh komponen PLTU memiliki efisiensi yang tinggi, maka unjuk kerja (performance) PLTU tersebut dikatakan tinggi sehingga biaya operasi PLTU juga menjadi rendah. Seandainya karena suatu sebab unjuk kerja PLTU turun, berarti PLTU memerlukan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan output energi listrik sesuai desain. Akibatnya biaya operasi menjadi semakin tinggi. Umumnya PLTU hanya mampu mengubah sekitar 35% dari energi input dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Sisa energi lainnya berubah menjadi kerugian - kerugian (losses) yang terjadi pada berbagai tahapan proses transformasi energi.

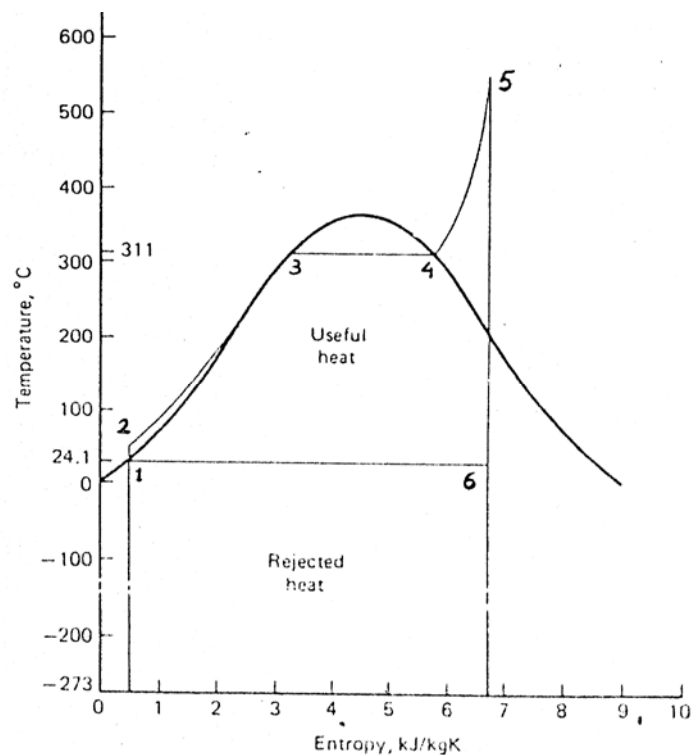
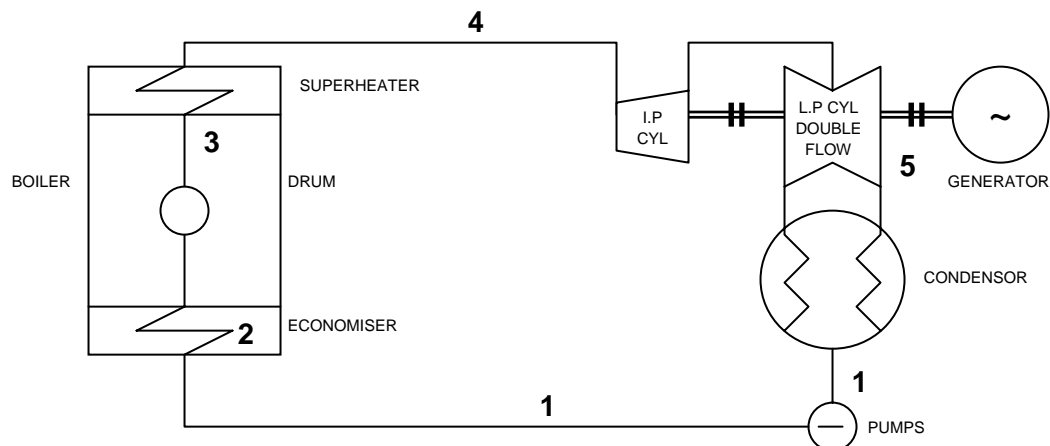
Sebagian besar dari energi ini terbuang keluar meninggalkan siklus PLTU bersama gas bekas (flue gas) yang mengalir dari cerobong, terbawa oleh air pendingin utama (circulating water) didalam kondensor, terbuang kelingkungan sekitar dan lain sebagainya.

1.2. Efisiensi Termal

Seperti telah disinggung diatas bahwa definisi umum efisiensi adalah perbandingan antara output dengan input. Dalam konteks efisiensi termal, maka output maupun input harus dinyatakan didalam besaran yang sama yaitu besaran panas.

Untuk menghitung efisiensi termal maka terlebih dahulu harus dicari besarnya input, output atau losses. Untuk mengetahui besarnya input, output atau

losses, maka itu kita harus dapat merepresentasikan siklus PLTU dalam diagram Temperatur - Entropi.

Gambar 2 merupakan siklus PLTU dengan superheater tanpa pemanas awal air pengisi. Sedangkan gambar 1.2.1.b adalah tampilan siklus PLTU tersebut dalam diagram temperatur - entropi (T - S).

Gambar 2. Siklus Rankine

Dari ilustrasi tersebut maka efisiensi termal dapat dihitung dengan cara :

- $$\eta_{th} = \frac{\textbf{output}}{\textbf{input}} \times 100\ \%$$ **dimana** $\textbf{output} = h_4 - h_5$, $\textbf{input} = h_4 - h_1$

atau

- $$\eta_{th} = \frac{\textbf{input - losses}}{\textbf{input}} \times 100\ \%$$ **dimana** $\textbf{input} = h_4 - h_1$, $\textbf{losses} = Ts\ (S_5 - S_1)$

1.3. Efisiensi PLTU

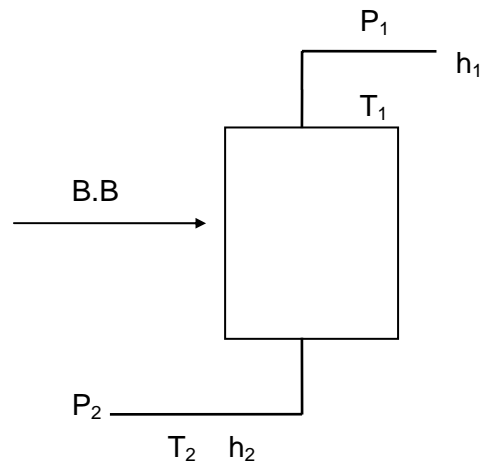
PLTU adalah Unit Pembangkit Termal yang merupakan suatu sistem yang terdiri dari berbagai komponen-komponen seperti : ketel, turbin, generator dan alat-alat bantu lainnya. Masing-masing komponen memiliki besaran efisiensi turbinnnya, generator dengan efisiensi generator dan demikian pula dengan alat-alat bantu lainnya.

Bila efisiensi dari masing-masing komponen tersebut dikombinasikan, maka akan diperoleh efisiensi keseluruhan dari sistem PLTU. Efisiensi menyeluruh ini dapat ditemukan melalui persamaan berikut :

$$\eta_m = \eta_{th} \times \eta_k \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_A$$

dimana : η_m = Efisiensi keseluruhan sistem PLTU
η_{th} = Efisiensi termal siklus
η_k = Efisiensi Ketel
η_g = Efisiensi generator
η_A = Efisiensi alat-alat bantu

2. EFISIENSI KETEL

Sesuai dengan definisi efisiensi yang telah diuraikan dimuka, maka untuk dapat menghitung efisiensi ketel berarti kita harus mengetahui terlebih dahulu besarnya input ke ketel dan besarnya output dari ketel atau besarnya input ke ketel dan besarnya losses yang terjadi dalam ketel. Ilustrasi pada gambar 3, membantu menguraikan masalah ini.

Gambar. 3.

Bila kita menggunakan besaran output dari ketel dan input ke ketel untuk menghitung efisiensi ketel, maka efisiensi ketel dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Efisiensi ketel } (\eta_k) = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\ \%$$

Efisiensi ketel yang dihitung dengan cara seperti ini disebut perhitungan efisiensi ketel dengan metode langsung (direct method). Besaran output dari ketel dapat diketahui dari selisih entalpi uap keluar ketel dikurangi dengan entalpi air pengisi yang akan masuk ke ketel.

Jadi untuk setiap satuan massa, maka output = h_1 - h_2 (gambar 2.1). Dengan bantuan tabel uap, Entalpi uap keluar ketel (h_1) dapat dicari bila Tekanan dan Temperatur uap keluar ketel (P_1 dan T_1) diketahui. Demikian pula halnya dengan entalpi air pengisi masuk ketel (h_2).

Seandainya P_1 = 100 bar dan T_1 = 510 C maka dari tabel uap diperoleh bahwa h_1 = 3400 KJ/Kg. Kalau P_2 = 100 bar dan T_2 = 280 C, maka h_2 = 1235 KJ/Kg.
Dengan demikian maka output dari ketel = 34000 - 1235 = 2165 KJ/Kg.

Unsur input untuk ketel adalah energi panas yang dihasilkan oleh transformasi energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar. Untuk ini kita harus mengetahui nilai kalor bahan bakar yang dapat dipeorleh melalui pengujian ataupun dari data bahan bakar.

Seperti diketahui bahwa nilai kalor bahan bakar ada 2 macam yaitu nilai kalor atas (HHV) dan nilai kalor bawah (LHV). Misalnya nilai kalor atas bahan bakar = 2547 KJ/Kg dan nilai kalor bawah bahan bakar = 2405 KJ/Kg.

- Efisiensi ketel (bedasarkan HHV) = $\frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\ \% = \frac{2165}{2547} \times 100\ \% \sim 85\ \%$

- Efisiensi ketel (bedasarkan LHV) = $\frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\ \% = \frac{2165}{2405} \times 100\ \% \sim 90\ \%$

Cara perhitungan efisiensi dengan metode langsung (direct method) cukup sederhana namun tingkat akurasinya relatif rendah.

Selain dengan metode langsung, kita juga mengenal cara lain untuk menghitung efisiensi ketel yaitu dengan metode tidak langsung (indirect method/losses method). Untuk menghitung efisiensi ketel dengan metode ini, terlebih dahulu harus dicari unsur input yang masuk keketel serta kerugian (Losses) yang terjadi didalam ketel.

Perhitungan efisiensi dilakukan dengan persamaan :

$$\text{Efisiensi Ketel } (\eta_k) = \frac{\text{input - losses}}{\text{input}} \times 100\ \%$$

Unsur input ke ketel masih tetap berupa energi panas yang diperoleh dari Trasnformasi energi kimia yang dikandung didalam bahan bakar. Jadi input ke ketel adalah Nilai kalor bahan bakar.

2.1. Kerugian - Kerugian Ketel.

Besaran lain yang perlu dicari adalah kerugian-kerugian (Losses) yang terjadi didalam ketel. Adapun kerugian-kerugian yang terjadi didalam ketel terdiri dari :

- Kerugian gas asap kering (dry flue gas loss)
- Kerugian gas asap basah (wet flue gas loss)
- Kerugian kandungan panas sensibel dalam uap air
- Kerugian karbon dalam abu / debu (combustible in ash)
- Kerugian Radiasi dan panas tak terhitung (Radiation & Uncountable Heat)

2.1.1. Kerugian Gas Asap Kering (Dry Flue Gas Loss).

Merupakan kerugian panas yang terbawa oleh gas asap kering keluar dari cerobong ketel. Ketika gas bekas (Flue Gas) keluar meninggalkan air heater, gas bekas masih mengandung sejumlah panas yang tidak lagi memiliki kesempatan untuk memanfaatkan. Karenanya, energi panas akan terus terbawa gas bekas mengalir kecerobong dan akhirnya terbuang ke atmosfir. Kerugian panas yang terbawa oleh gas asap ke atmosfir diklasifikasikan menjadi kerugian gas asap kering dan kerugian gas asap basah. Kerugian gas asap kering adalah kerugian panas yang terbawa oleh sejumlah gas asap hasil pembakaran carbon dan sullfur. Besanya kerugian gas asap kering dapat dicari dengan rumus :

$$DFG = \frac{100}{12\,(CO_2 + CO)}\;\frac{C}{100}\;\left(\frac{S}{267} + - CA\right) \times CP \times (t_1 - t_2) \text{ KJ/Kg bahan bakar}$$

dimana :

- DFG = Kerugian gas asap kering dalam KJ/kg bahan bakar.
- CO_2 , CO = % volume CO_2 dan CO dalam gas bekas.
- C = Kandungan carbon persatuan massa bahan bakar kg/kg.
- S = Kandungan Sulfur persatuan massa bahan bakar kg/kg.
- CA = Kandungan carbon dalam abu persatuan massa bahan bakar kg/kg.
- CP = Panas jenis (specific heat) rata-rata gas bekas KJ/kg ^{0}C.
- t_1 = Temperatur gas bekas keluar A/H ^{0}C.
- t_2 = Tempararut udara masuk FD Fan ^{0}C.

Besaran $\frac{S}{267}$ hanya dipakai bila analisis gas bekas dilakukan dengan menggunakan alat ORSAT. Hal ini disebabkan karena persentase CO_2 yang diperoleh dari alat ORSAT termasuk kandungan Sulfurdioksida.
Penyebut dari bilangan diatas didapat dari pebandingan antara berat atom carbon dengan berat atom Sulfur yaitu :

$$\frac{32}{12} = 2,67.$$

2.1.2. Kerugian Gas Asap Basah (Wet Flue Gas Loss).

Kerugian ini meupakan kerugian panas akibat kandungan air dalam gas bekas yang terbuang ke atmosfir. Uap air dalam gas bekas bersal dari dua sumber yaitu :

- Kandungan air dalam bahan bakar (Moisure in Fuel)
- Air yang terbentuk dari reaksi pembakaran hidrogen dalam bahan bakar.

Apabila bahan bakar yang dipakai mengandung air, maka untuk setiap kg air yang tekandung dalam baham bakar diperlukan sejumlah panas untuk mengubahnya menjadi uap dan keluar bersama gas bekas ke cerobong. Panas yang dikandung uap air dapat terdiri dari panas sensibel + panas laten + superheat yang besarnya tergantung pada tekanan dan temperatur keluar air heater.

Perlu diingat bahwa bearnya panas ini sama sekali tidak tergantung pada berapapun tingginya temperatur didalam ketel, melainkan hanya tergantung pada temperatur awal ketika masuk ketel dan temperatur akhir ketika meninggalkan air heater.

Sumber air yang kedua adalah sebagai produk dari pembakaran hidrogen. Dari persamaan reaksi pembakaran hidrogen diketahui bahwa air yang terbentuk dari proses pembakaran hidrogen adalah sembilan kali kadar hdrogen dalam satuan berat.

Selanjutnya, kerugian gas asap basah untuk bahan bakar padat dan cair dapat dihitung dengan rumus :

$$Wfg = \frac{M + gH}{100} = [\ Cpa\ (T - t_2) + hfg + Cpg\ (t_1 - T)]\ \text{KJ/Kg bahan bakar}$$

Sedang untuk bahan bakar gas, karena kandungan air dalam bahan bakar sudah berupa uap, maka rumus kerugian gas asap basah berubah menjadi :

$$Wfg = \frac{gH}{100} = [\ Cpa\ (T - t_2) + hfg + Cpg\ (t_1 - T)]\ \text{KJ/Kg bahan bakar}$$

dimana :

- Wfg = Kerugian gas asap basah (KJ/Kg bahan bakar).
- M = Persen air dalam bahan bakar.
- H = Persen Hidrogen dalam bahan bakar.
- Cpa = Panas jenis air
- Cpg = Panas jenis rata-rata gas.
- T = Temperatur atmosfir.
- t_1 = Temperatur gas keluar A/H.
- t_2 = Temperatur udara masuk FD Fan.

2.1.3. Kerugian Panas Sensibel Dalam Uap Air.

Kerugian ini diperhitungkan manakala efisiensi ketel dihitung hanya berdasarkan nilai kalor bawah bahan bakar (LHV).
Kerugian panas sensibel dapat dihitung dengan rumus :

LS = Wfg - (HHV - LHV) KJ/Kg bahan bakar.

dimana :

- LS = Kerugian panas sensibel dalam uap air (KJ/Kg bahan bakar).
- Wfg = Kerugian gas asap basah (KJ/Kg bahan bakar).
- HHV = Nilai kalor atas bahan bakar (KJ/Kg bahan bakar).
- LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar (KJ/Kg bahan bakar).

2.1.4 Kerugian Carbon Dalam Abu.

PLTU berbahan bakar batubara maupun minyak umumnya menghasilkan limbah abu yang keluar dari ruang bakar ketel.

Salah satu unsur yang terkandung dalam limbah abu ini adalah carbon. Ini berarti bahwa ada sebagian carbon dari bahan bakar yang tidak terbakar didalam ruang bakar dan turutu keluar bersama limbah abu. Seperti diketahui bahwa untuk setiap Kg carbon yang terbakar sempurna akan menghasilkan panas sebesar 33 820 KJ. Karena itu, bila ternyata terdapat kandungan carbon dalam limbah abu berarti merupakan kerugian. Untuk dapat mengetahui besarnya kerugian ini, maka diperlukan analisis terhadap sampel limbah abu. Sampel diambi dari berbagai pengumpul abu (dust collector) untuk kemudian dianalisis guna mendapatkan kadar kandungan carbon dalam limbah abu.

Setelah kandungan carbon dalam limbah abu diketahui, maka kerugian carbon dalam abu apat dihitung dengan rumus :

Cia = P.A x 33820 KJ/Kg bahan bakar

dimana :

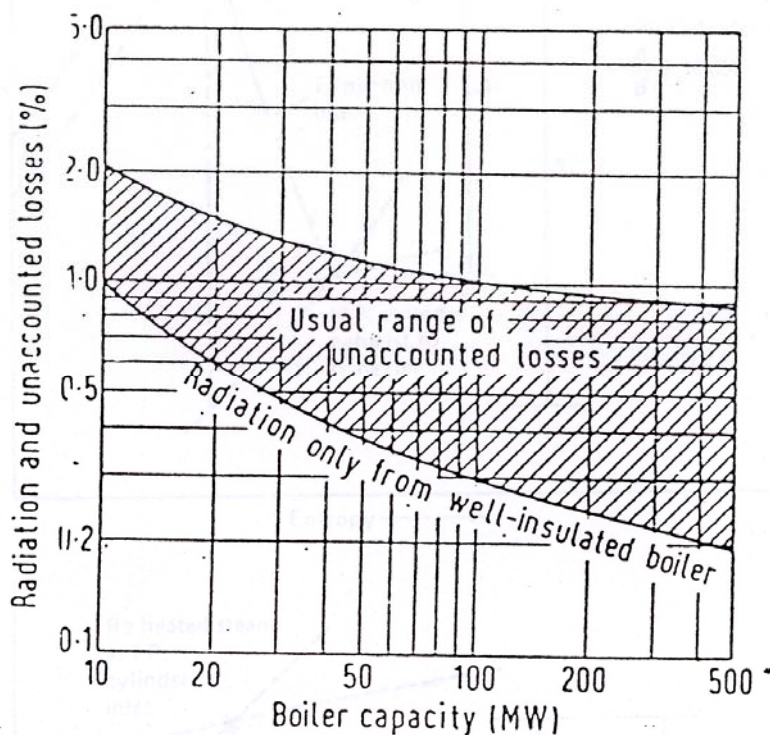
- Cia = Kerugian carbon dalam abu (KJ/Kg bahan bakar).
- P = Persen berat carbon dalam abu.
- A = Massa limbah abu kering (Kg/Kg bahan bakar).

2.1.5. Kerugian Radiasi dan Panas Tak Terhitung.

Kerugian ini merupakan kerugian lain terjadi pada ketel selain keempat jenis kerugian yang telah dibahas diatas.

Dari jenis kerugian ini, komponen keugian radiasi umumnya menempati porsi yang dominan yaitu sekitar 50 %. Sisanya merupakan kerugian lain yang cukup sulit untuk dihitung baik karena terlalu kecil untuk dihitung secara terpisah maupun karena sulit dalam melaksanakan pengukuran. Kerugian-kerugian lain meliputi :

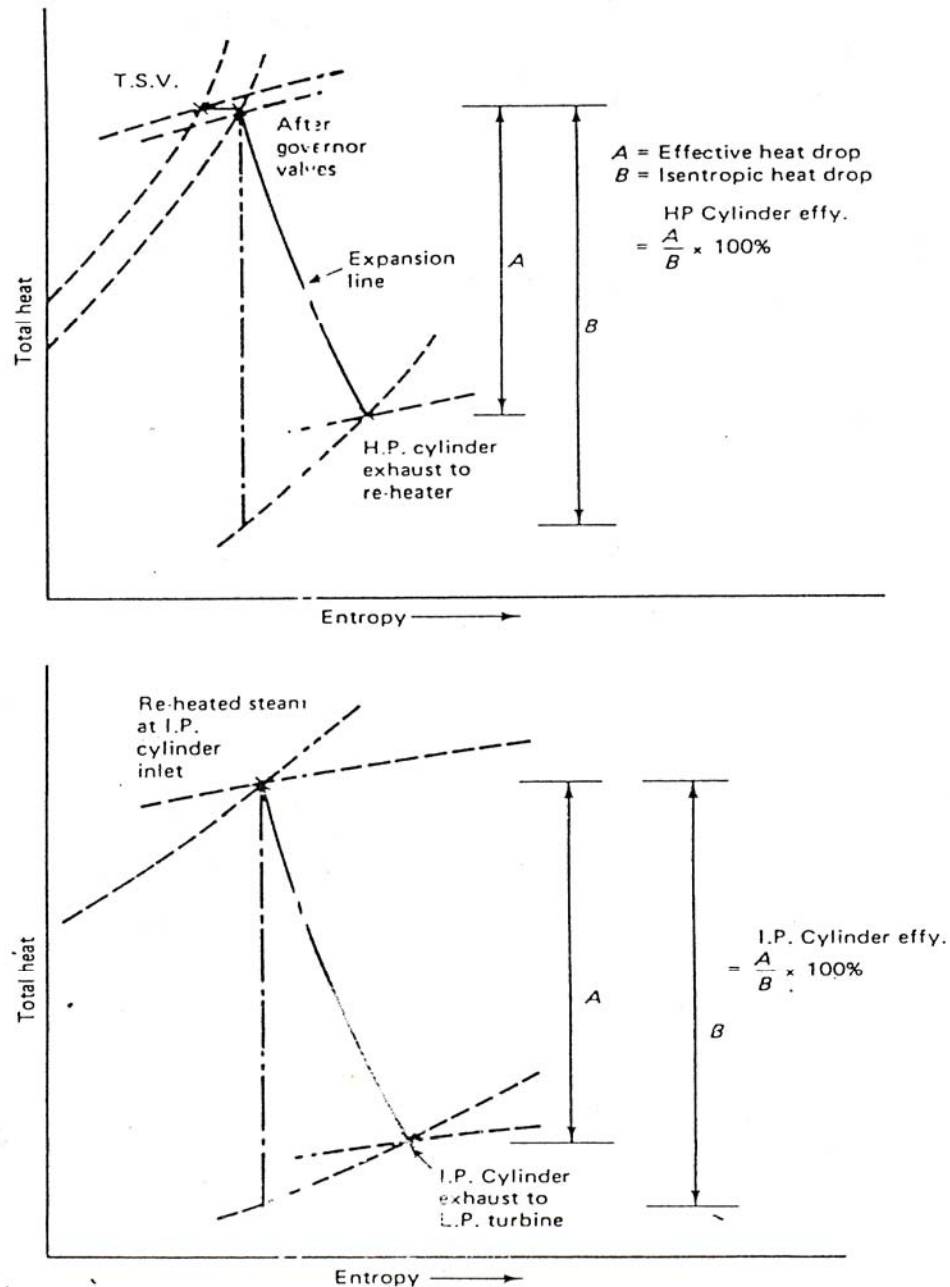
- Kandungan air dalam udara pembakaran.
- Hydrocarbon dalam gas bekas.
- Panas yang hilang terbawa debu terbang dan sebagainya.

Karena tingkat kesulitan untuk menentukan jenis kerugian ini cukup tinggi, maka untuk mempermudah biasanya digunakan grafik. Seperti terlihat pada gambar 4.

Gambar 4. Grafik Kerugian Radiasi Dan Panas Tak Terhitung

Pada ilustrasi diatas terlihat bahwa besarnya kerugian radiasi dan panas tak terhitung merupakan fungsi dari kapasitas ketel serta beban ketel. Ketel-ketel yang beroperasi pada beban parsial (partial load) memiliki kerugian yang lebih besar. Selain itu, konstruksi ketel juga turut menentukan besarnya kerugian ini. Ketel-ketel dengan konstruksi diluar ruangan (outdoor) untuk kapasitas yang sama serta beban operasi yang sama akan menanggung kerugian radiasi yang lebih besar dibanding ketel-ketel dengan konstruksi didalam ruangan (indoor).

3. EFISIENSI TURBIN.

Seperti halnya komponen-komponen PLTU yang lain, turbin uap juga tidak mungkin mengubah 100 % energi panas yang masuk menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros.

Gambar 5, merupakan ilustrasi untuk menyatakan efisiensi turbin secara umum.

Gambar. 5.

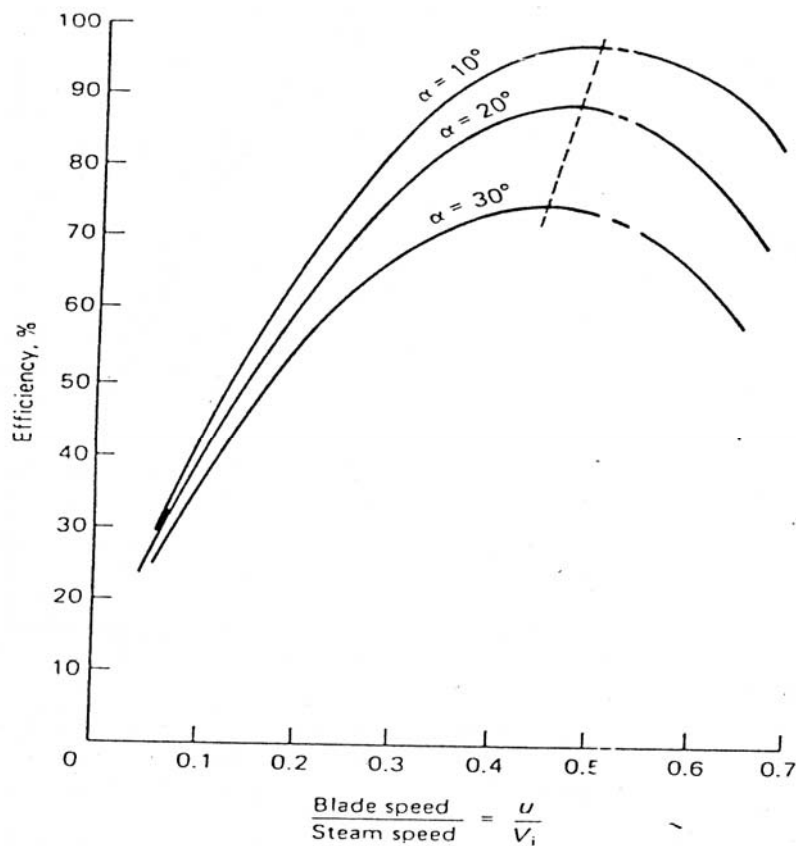
Dari gambar diatas terlihat bahwa input panas ke Turbin untuk diubah menjadi energi mekanik adalah sebesar B. Sedangkan energi mekanik yang dihasilkan turbin (output) adalah sebesar A.

Dengan demikian maka efisiensi turbin secara umum adalah :

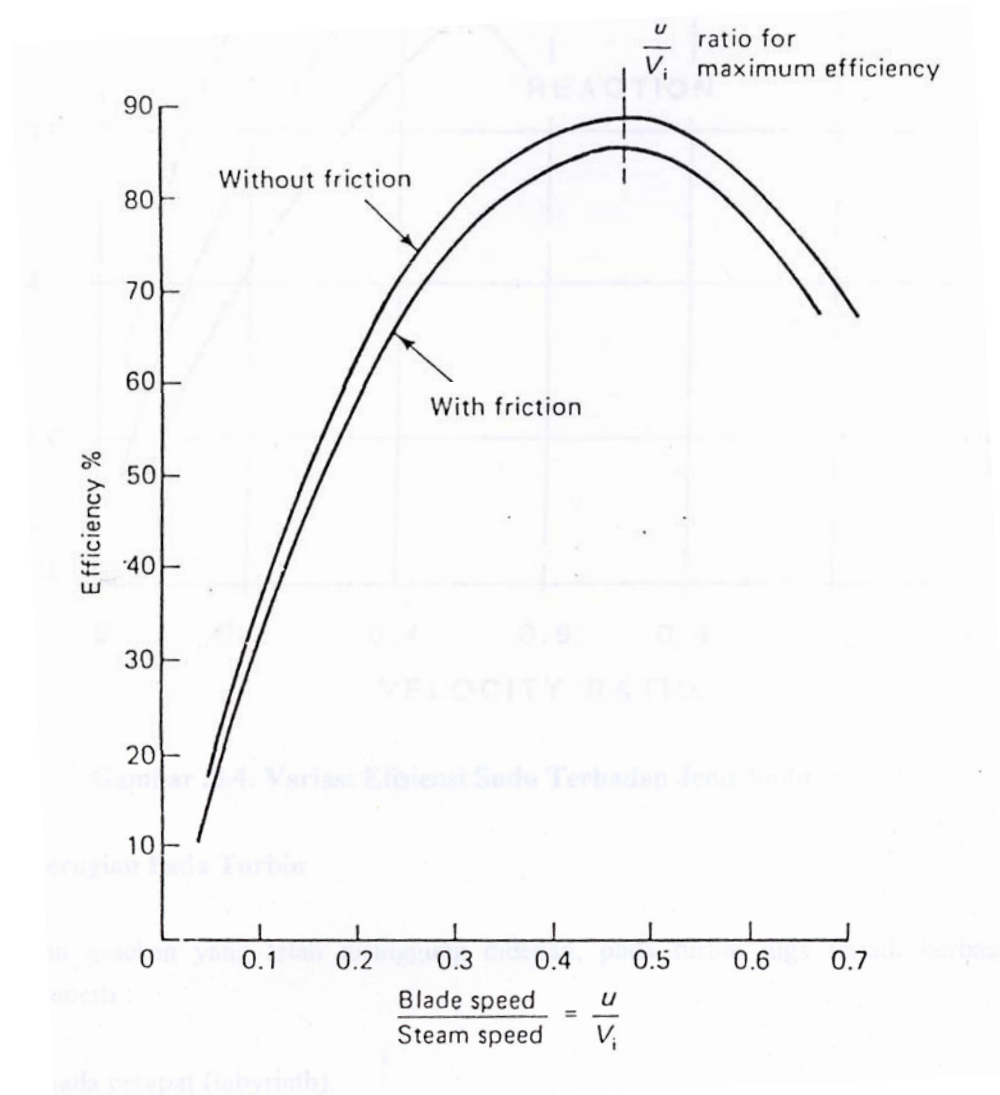
$$\eta_T = \frac{A}{B} \times 100\ \%$$

B adalah merupakan proyeksi dari proses ekspansi ideal (isentropis).

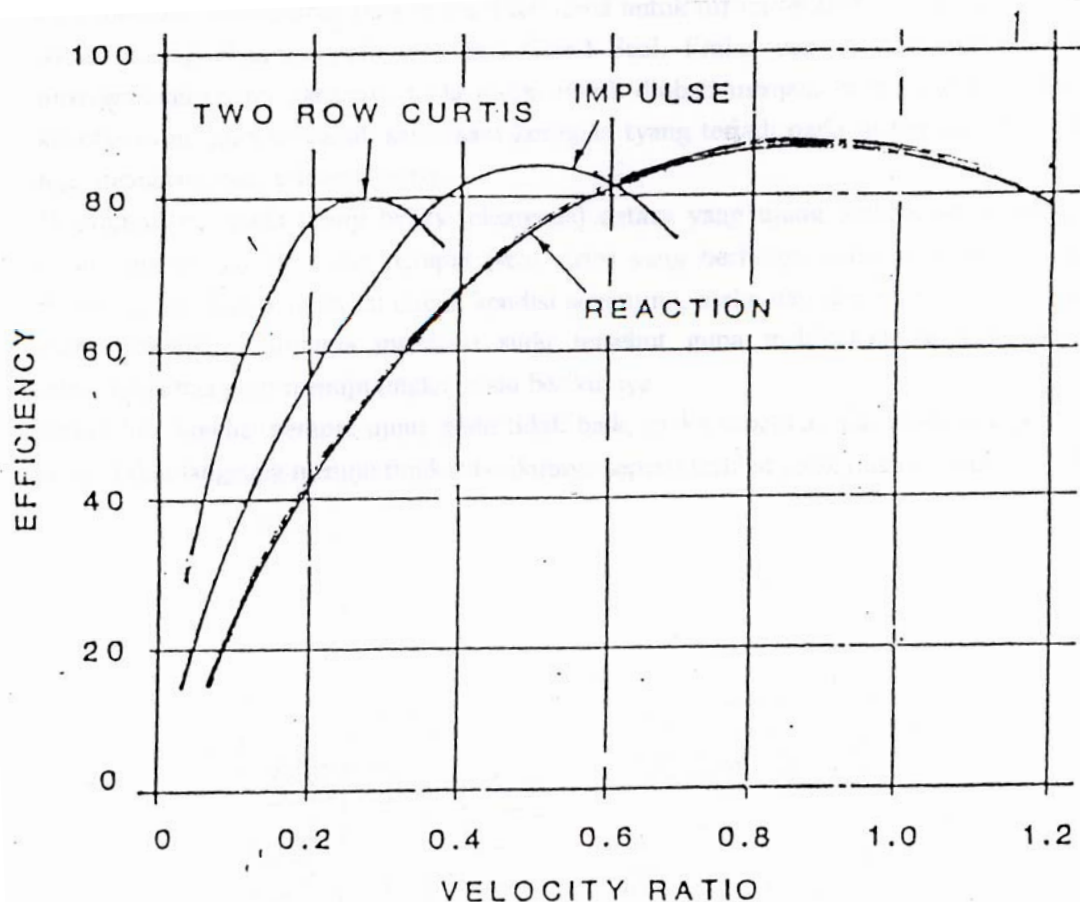
3.1. Efisiensi Sudu

Komponen turbin yang berfungsi untuk menghasilkan energi mekanik adalah sudu jalan. Berdasarkan penelitian, diketahui bahwa efisiensi sudu merupakan fungsi dari perbandingan (Ratio) antara kecepatan sudu dengan kecepatan uap. Gambar 6, melukiskan variasi efisiensi sudu terhadap ratio kecepatan.

Gambar 6. Efisiensi Sudu vs Ratio Kecepatan

Selain merupakan fungsi dari ratio kecepatan, efisiensi sudu juga tergantung pada besarnya sudut uap masuk sudu (a). Pada gambar terlihat bahwa efisiensi sudu maksimum (teoritis) sebesar 100 % akan dicapai pada ratio kecepatan sebesar 0,5 dan sudu a = 0 ^{0}.

Bila faktor gesekan diperhitungkan, maka efisiensi sudu menjadi lebih kecil seperti terlihat pada gambar 7.

Gambar 7.. Efsisiensi Sudu Dengan Gesekan

Disamping kedua aspek tersebut, efisiensi sudu juga tergantung pada jenis sudu.

Gambar 8, memperlihatkan perbedaan efisiensi sudu impuls dan sudu reaksi pada berbagai harga ratio kecepatan.

Gambar 8. Variasi Efisiensi Sudu Terhadap Jenis Sudu

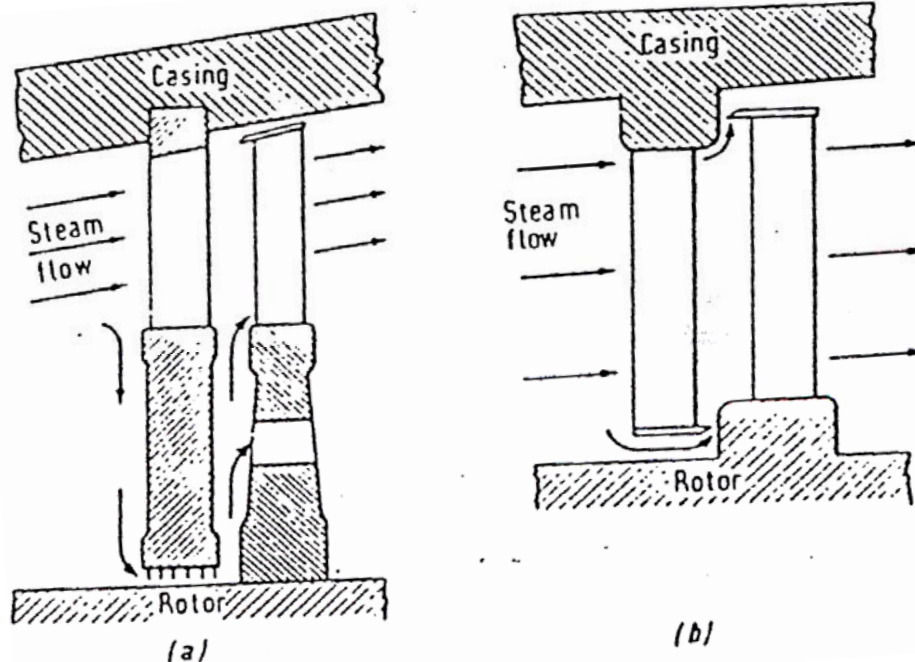
3.2 Kerugian - Kerugian Pada Turbin

Selain kerugian gesekan yang telah disinggung didepan, pada turbin juga terjadi berbagai kerugian lain seperti :

- Kerugian pada perapat (labyrinth).
- Kerugian karena derajat kebasahan uap.
- Kerugian energi kinetic bekas (leaving loss).
- Kerugian Throttling pada beban partial.
- Kerugian mekanik.

3.2.1. Kerugian Perapat (Labyrinth).

Kerugian perapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu : kerugian perapat poros turbin dan kerugian perapat antar tingkat sudu-sudu antara rotor dengan casing. Pada perapat poros turbin (Gland Seal) terutama untuk turbin tekanan tinggi, sejumlah uap dari dalam casing akan mengalir melintasi Gland Seal. Fraksi uap ini tentunya tidak mungkin menyerahkan energi panasnya pada turbin untuk diubah menjadi energi mekanik. Karenanya, kebocoran ini juga termasuk salah satu kerugian tyang terjadi pada turbin yang pada akhirnya juga mempengaruhi efisiensi turbin.

Disamping itu, pada ruang bebas (clearence) antara yang ujung sudu jalan (shroud) dengan casing turbin juga dipasang perapat (seal strip) yang berfungsi sebagai penyekat antar sudu dalam turbin. Bila perapat ini dalam kondisi sempurna, maka uap dari tingkat sudu sebelumnya akan mengalir seluruhnya melintasi sudu tersebut guna melakukan kerja mekanik untuk selanjutnya mengalir menuju tingkat sudu berikutnya.
Tetapi bila kondisi perapat ujung sudu tidak baik, maka sebagian uap akan mengalir melintasi perapat dan langsung menuju tingkat berikutnya seperti terlihat pada ilustrasi gambar 9.

Gambar 9. Perapat Ujung - Ujung Sudu

Fraksi uap yang melintasi perapat ini sudah tentu tidak mengalir melintasi dudu-sudu jalan turbin dan seolah-olah mengambil jalan pintas dan mem - bypass sudu. Karenanya, fraksi uap ini juga tidak mungkin menyerahkan energinya pada sudu jalan untuk diubah menjadi energi mekanik. Dengan demikian, kebocoran ini juga termasuk kategori kerugian yang terjadi dalam turbin.

Besarnya kerugian baik yang melintasi perapat poros maupun yang melintasi perapat ujung-ujung sudu, tergantung pada tingkat kebocoran atau kondisi kedua perapat tersebut. Bila turbin selalu dioperasikan sebagaimana mestinya misalnya parameter differensial ekspansion, Rotor position serta seal steam temperatur selalu berada dibawah limit yang ditentukan, maka kedua perapat tersebut akan senantiasa berada dalam kondisi sehat. Perlu diingat bahwa perapat yang tidak sehat akan memperbesar kerugian dan pada akhirnya akan memperkecil efisiensi turbin.

3.2.2. Kerugian Kebasahan Uap Bekas.

Seperti diketahui bahwa sudu-sudu tingkat akhir turbin tekanan rendah memiliki radius yang paling besar dibanding radius sudu-sudu yang lain. Ini berarti bahwa ratio kecepatan pada sudu-sudu tingkat akhir menjadi semakin besar. Dengan kata lain dapat dinyatakan bahwa perbedaan kecepatan linier sudu-sudu tingkat akhir dengan kecepatan uap relatif sangat kecil. Disamping itu, temperatur uap didaerah ini sudah relatif rendah sehingga kondisi uap didaerah ini sudah berupa uap basah karena sebagian uap sudah mulai terkondensasi. Fraksi air dalam uap basah akan bergerak dengan kecepatan yang lebih rendah dibanding fraksi uapnya.

Makin besar kandungan air dalam uap basah berarti makin lambat fraksi air bergerak. Pada tingkat kebasahan tertentu, maka kecepatan fraksi air akan menjadi lebih rendah dari kecepaan sudu. Dalam kondisi seperti ini maka bukan lagi fraksi air yang memutar sudu turbin melainkan sebaliknya sudu yang memutar fraksi air tersebut. Dengan kata lain sudu turbin melakukan kerja mekanik terhadap fraksi air.

Selain itu, besanya sudut vektor kecepatan relatif air terhadap sudu juga mengalami perubahan. Hal ini mengakibatkan fraksi air bukan mengalir melalui dada sudu seperti halnya uap, tetapi akan membentur bagian punggung sudu.

Ini berarti arah kecepatan air cenderung menghambat gerakan sudu jalan turbin. Jadi selain mengakibatkan erosi, fraksi air juga menimbulkan kerugian karena energi mekanik yang dihasilkan poros turbin menjadi berkurang. Makin besar kadar air dalam uap berarti makin besar kerugian yang berarti pula semakin kecil efisiensi turbin.

Hal yang perlu diperhatikan oleh operator adalah mengusahakan agar kadar air dalam uap bekas sekecil mungkin (dalam kondisi operasi bagaimanapun juga) agar diperoleh efisiensi turbin yang seoptimal mungkin.

3.2.3 Kerugian Energi Kinetik Uap Bekas.

Setelah keluar dari sudu akhir turbin tekanan rendah, uap bekas akan mengalir memasuki kondensor. Karena uap bekas ini mengalir, berarti uap ini masih memiliki kecepatan (velocity). Sedang kita maklumi bersama bahwa kecepatan merupakan fungsi dari energi kinetik yang dinyatakan dengan rumus :

$E_K = ½ mV^2$ dimana : E_K = Energi kinetik
m = massa
V = kecepatan

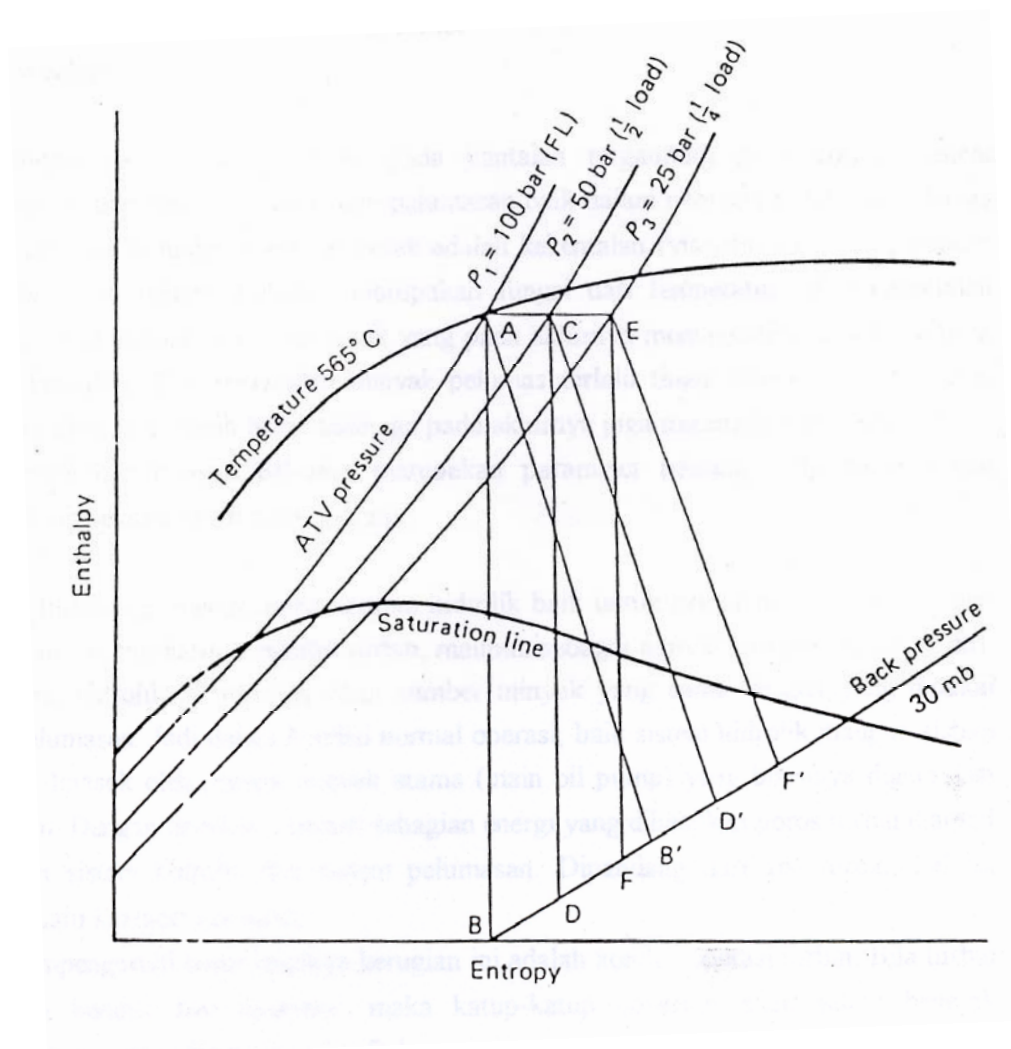
Energi kinetik dalam uap bekas ini tentunya tidak lagi dapat dimanfaatkan oleh turbin karena sudah keluar meninggalkan turbin. Dengan demikian, maka besaran energi ini juga termasuk kedalam salah satu jenis kerugian yang terjadi dalam turbin.

Faktor operasional yang mempengaruhi kerugian ini adalah tekanan kondensor. Makin rendah tekanan kondensor (vacum tinggi) makin tinggi kecepatan uap yang berarti makin tinggi pula kerugian energi kinetik uap bekas.

3.2.4 Kerugian Throtling.

Hampir semua turbin yang kita miliki menerapkan sistem pengaturan yang disebut “ Nozzle Controled Governor”. Dalam sistem pengaturan ini, variasi daya turbin diperoleh dari variasi aliran uap (steam flow) melalui variasi pembukaaan katup governor.

Pada kondisi beban maksimum, berarti semua katup governor akan membuka penuh. Tetapi pada beban parsial (dibawah beban maksimum), ada beberapa katup governor yang tertutup. Bahkan pada beban parsial tertentu, ada satu atau lebih katup governor yang juga membuka sebagian (tidak membuka penuh), sesuai dengan kebutuhan aliran uap saat itu. Dalam kondisi ini, berarti pada katup-katup yang membuka sebagian tersebut tejadi proses throtling. Pada proses throtling terjadi kerugian yang disebut kerugian throtling (Throtling Loss).

Hal ini dapat dilihat secara lebih nyata pada gambar 10.

Gambar 10. Kerugian Throtling

Seperti diketahui proses throtling adalah proses isentalpi (entalpi konstan) yang mengakibatkan turunnya tekanan dan temperatur uap. Pada gambar terlihat bahwa semakin besar penurunan tekanan akibat throtling, maka garis ekspansi uap akan semakin pendek. Ini berarti bahwa energi panas yang dapat diubah menjadi energi mekanik menjadi semakin kecil. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bila dalam pengoperasian turbin terjadi proses throtling, berarti efisiensi turbin akan berkurang.

3.2.5. Kerugian Mekanik

Kerugian lain yang juga terjadi pada turbin adalah kerugian mekanik.Yang termasuk dalam kategori kerugian mekanik adalah :

- Kerugian gesekan pada bantalan
- Kerugian daya untuk penggerak sistem governor
- Kerugian windage

Besarnya kerugian gesekan yang terjadi pada bantalan tergantung pada kondisi sistem pelumasan. Faktor yang dominan dari sistem pelumasan baik dalam pembentuk lapisan pelumas (lapisan flim) maupun terhadap koefisien gesek adalah kekentalan (viscosity) minyak pelumas. Sedangkan kekentalan minyak pelumas merupakan fungsi dari temperatur. Bila kekentalan terlalu rendah maka pelumas film akan rusak yang pada akhirnya meningkatkan gesekan antara poros dengan bantalan. Bila kekentalan minyak pelumas terlalu tinggi maka koefisien gesek minyak pelumas akan bertambah besar sehingga pada akhirnya juga meningkatkan gesekan. Karena itu temperatur minyak pelumas merupakan parameter penting yang harus selalu diperhatikan secara seksama oleh para operator.

Hampir semua turbin uap menggunakan sistem hidrolik baik untuk penggerak aktuator (power oil) guna membuka katup-katup pengatur turbin, maupun sebagai minyak pengatur (control oil). Umumnya sistem hidrolik ini menggunakan sumber minyak yang sama dengan yang dipakai untuk sistem pelumasan. Jadi dalam kondisi normal operasi, baik sistem hidrolik maupun sistem pelumas turbin dipasok oleh pompa minyak utama (main oil pump) yang biasanya digerakkan oleh poros turbin. Dengan demikian, berarti sebagian energi yang dihasilkan poros turbin diambil untuk keperluan sistem hidrolik dan

sistem pelumasan. Dipandang dari sisi turbin, hal ini termasuk salah satu kategori kerugian.

Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya kerugian ini adalah kondisi operasi turbin. Bila turbin beroperasi pada kondisi free governor, maka katup-katup governor akan selalu begerak (membuka/menutup) sesuai dengan kondisi frekuensi sistem jaringan. Dengan selalu bergeraknya katup governor, berarti konsumsi daya untuk sistem hidrolikpun akan bertambah yang berarti kerugian turbin menjadi bertambah pula.